

Classificação da produtividade para um plantio de *Tectona grandis* em Alta Floresta, Mato Grosso

Classification of productivity for a *Tectona grandis* planting in Alta Floresta, Mato Grosso

Fabricia Rodrigues Silva^{1(*)}
Versides Sebastião Moraes e Silva²
Soely Ovidio de Miranda³
Bruna Ribeiro Oliveira⁴
Jeane Cabral Silva⁵

Resumo

Este estudo teve como objetivo comparar a eficiência dos métodos da curva-guia e diferença de equação para ajuste de curvas de índice de sítio em um povoamento de *Tectona grandis* L. f. Os dados utilizados neste estudo são provenientes da análise de tronco completa de 47 árvores com características de dominantes que foram obtidos de um plantio no município de Alta Floresta, Estado de Mato Grosso, Brasil. Das árvores amostra foram determinados os pares de valores de altura e idade que serviu de base para a classificação da capacidade produtiva do local (sítio). Os métodos utilizados foram curva-guia e diferença a de equação, em que o primeiro foi considerado como o método padrão e o segundo como método alternativo. O modelo de Schumacher foi utilizado nos dois métodos, sendo que, para a avaliação individual do modelo, foi considerado o coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual e gráfico de resíduos. Foram geradas quatro curvas de índice de

-
- 1 MSc.; Engenheira Florestal; Mestranda em Ciências Florestais e Ambientais na Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT; Endereço: Avenida Fernando Correa da Costa, s/nº, Coxipó, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: engfabriciarodrigues@gmail.com (*) Autora para correspondência.
 - 2 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor Aposentado na Classe Associado IV do Departamento de Engenharia Florestal - Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT; Endereço: Avenida Fernando Correa da Costa, s/nº, Coxipó, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: versides@uol.com
 - 3 MSc.; Engenheira Florestal; Professora Substituta na Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT; Endereço: Avenida Fernando Correa da Costa, s/nº, Coxipó, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: soelymiranda@yahoo.com.br
 - 4 Engenheira Florestal; Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, bolsista CAPES. Endereço: Avenida Fernando Correa da Costa, s/nº, Coxipó, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: bruna.oliveira19@hotmail.com
 - 5 Engenheira Florestal; Professora do Curso Técnico no Departamento Regional do Mato Grosso, SENAI/DR; Endereço: Avenida Historiador Rubens de Mendonça, 4.193, Bosque da Saúde, CEP: 78050-000, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: jeanecabral@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 1/08/2013 e aceito em 30/12/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.12 n.4 p. 809 - 823 Set./Dez. 2016 ISSN 2175 - 9405
DOI:10.5935/ambiencia.2016.04.04

sítio de 12,71 m a 18,20 m na idade-índice de sete anos. Os dois métodos foram eficientes na construção das curvas de índice de sítio.

Palavras-chave: teca; índice de sítio; anamorfismo.

Abstract

This work aimed to compare the efficiency of the methods guide-curve and difference equation to adjust site index curves in a population of *Tectona grandis* L. f. The data used in this study were obtained from a complete stem analysis of 47 trees with dominant characteristics that were obtained from a no-tillage system, in *Alta Floresta, Mato Grosso, Brazil*. Value pairs for the height and the age of the trees were determined, being used as a basis to rank the local productive capacity. The methods used were guide-curve as the standard method and difference equation as the alternative method. Schumacher model was used in both methods, wherein the individual evaluation of the model was regarded as the adjusted determination coefficient, the residual standard error and the residual graphic. Four curves of site index were generated from 12,71 m to 18,20 m at the index-age of seven years. Both methods were efficient to make site index curves.

Key words: teak; site index; anamorphism.

Introdução

A Teca (*Tectona grandis*) é uma espécie que tem se destacado no setor florestal, principalmente no mercado externo. No Brasil, ela é plantada em escala comercial nos estados do Mato Grosso, Amazonas, Acre e Pará (ABRAF, 2011).

É empregada em uma variedade de usos tradicionais e atuais, incluindo mobiliário, elementos estruturais, madeira, laminados e pisos. Sua alta resistência a produtos químicos é ideal para móveis de laboratório. Essas propriedades mantêm a teca como uma das principais espécies de madeira tropical de alto valor neste século (CAMINO; MORALES, 2013). Segundo Schuhli e Paludzyszyn Filho (2010), o interesse na espécie como uma alternativa aos plantios florestais vem crescendo muito,

atualmente.

A espécie tolera uma grande variedade de climas, porém cresce melhor em condições tropicais moderadamente úmidas e quentes, com precipitação entre 1.300 e 2.500 mm por ano e estação seca de 3 a 5 meses; seu melhor desenvolvimento ocorre em regiões onde a temperatura mínima varia de 13 °C a 17 °C e máximas entre 39 °C a 43 °C. (WEAVER, 1993; PANDEY; BROWN, 2000).

Adapta-se a uma grande diversidade de solos, porém, o desenvolvimento é melhor em solos profundos, bem drenados e férteis (CHAVES; FONSECA, 1991; KRISHNAPILLAY, 2000).

Sempre que se pensa em conduzir uma floresta, é necessário saber o potencial produtivo do local no qual será implantado o povoamento. Assim, é possível identificar as diferentes classes de produtividade que são

denominadas de sítios (SELLE et al., 2009).

Spurr (1952) afirma que a altura das árvores dominantes é a melhor variável para caracterizar o sítio, o qual é representado pela altura alcançada pelo povoamento nas diferentes idades de seu desenvolvimento. Por convenção, a altura alcançada em uma determinada idade, tida como “idade índice” ou “idade de referência”, é chamada de índice de sítio.

As curvas de índice de sítio são construídas a partir de equações de índices do local e utilizadas para classificar, de modo quantitativo, a capacidade produtiva do lugar. Essas equações são derivadas de relações funcionais envolvendo a variável dependente, altura dominante e a variável independente idade de referência (CAMPOS; LEITE, 2002).

A identificação da curva da altura sobre a idade, referenciada à altura na idade índice, define os índices de sítio absolutos. Da mesma forma, a relação altura/idade poderia ser identificada por números romanos (I, II, III, respectivamente, indicando do melhor ao pior sítio), dando origem às classes de sítio (BURGER, 1976).

As curvas de índice de sítio podem ser anamórficas ou polimórficas, o que dependerá do método de análise e da procedência dos dados (PRODAN et al., 1997; CAMPOS; LEITE, 2002).

Segundo Scolforo (1997), as curvas anamórficas caracterizam-se por apresentar uma taxa constante de crescimento relativo à altura para qualquer sítio. Nas curvas polimórficas, a taxa de crescimento relativo à altura depende dos fatores de sítios; sendo assim, faz-se necessário conhecer o comportamento dos dados com a realização de teste do anamorfismo.

O método da curva-guia tem sido amplamente utilizado nos estudos referentes

à quantificação da capacidade produtiva de povoamentos florestais. No entanto, poucos estudos têm sido realizados utilizando o método da diferença de equação. Assim, idealizou-se, neste estudo, com o propósito de comparar a eficiência dos métodos da curva-guia e diferença de equação, determinar a capacidade produtiva de um plantio de *Tectona grandis* em Alta Floresta, Estado de Mato Grosso, Brasil.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

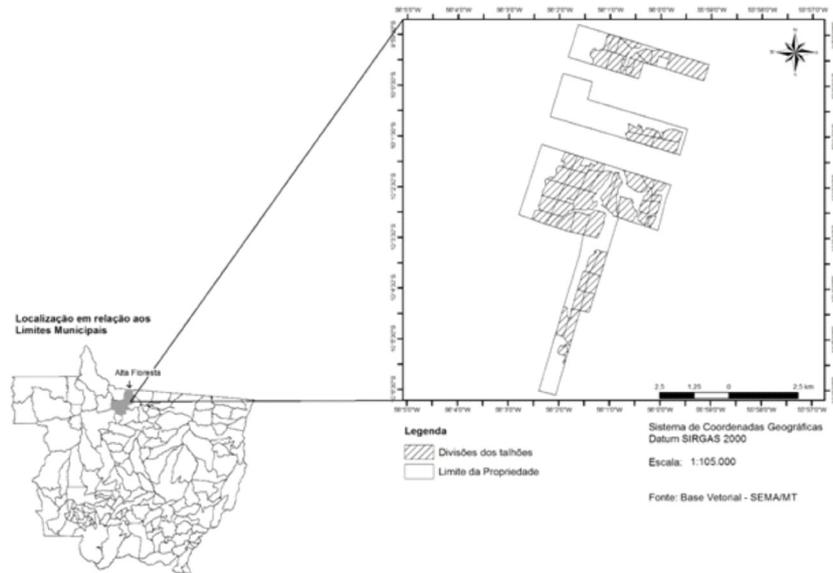
O estudo foi desenvolvido em um povoamento homogêneo de teca, com 1.365,16 ha implantados de 1996 a 2004, na Fazenda IDC, localizada no município de Alta Floresta, região norte do estado de Mato Grosso, entre as coordenadas 9° 59' 33.54" S 56° 00' 58.48" W, 10° 05' 45.96" S 56° 01' 47.18" W, 10° 00' 05.15" S 55° 59' 03.77" W e 10° 03' 08.85" S 56° 02' 32.49" W (Figura 1).

O clima da região é do tipo Am tropical monçônico, segundo a classificação de Alvares et al. (2014), caracterizado por elevado índice pluviométrico no verão com médias, às vezes, superiores a 3.000mm, e um inverno seco, predominando altas temperaturas. A propriedade fica inserida na bacia rio Teles Pires, que é o principal curso d'água da região.

Coleta e processamento dos dados

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de 47 árvores dominantes, com idade que variou de 3 a 13 anos. Das árvores amostras foram determinados, mediante análise de tronco completa, os pares de valores de altura em cada idade que serviu de base para a classificação da qualidade do

Figura 1 - Localização do povoamento de teca no estado de Mato Grosso



local (sítio). Na análise de tronco completa, foi empregada a metodologia descrita por Barusso (1977).

Foram testados seis modelos matemáticos para expressar a evolução da

altura dominante em cada idade, os quais se encontram na tabela 1. Os modelos testados foram selecionados na literatura (MORAES; SILVA, 1999).

Para os ajustes dos modelos

Tabela 1 - Modelos ajustados para expressar a capacidade produtiva do local

Nº	Modelos	Autor
1	$\ln(H_{dom}) = \frac{Id^2}{\beta_0 + \beta_1 * Id + \beta_2 * Id^2}$	<u>Prodan</u>
2	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{Id}\right)$	Schumacher
3	$\ln(H_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(Id) + \beta_2 * \ln^2(Id)$	<u>Backman</u>
4	$H_{dom} = \beta_0 * (1 - e^{-\beta_1 Id})^{\frac{1}{(1-\beta_2)}}$	Chapman-Richards
5	$H_{dom} = \beta_0 * (1 - e^{-\beta_1 * Id^{\beta_2}})$	<u>Bailey</u> (3 parâmetros)
6	$H_{dom} = \beta_0 * (1 - e^{-\beta_1 * Id^{\beta_2}})^{\beta_3}$	<u>Bailey</u> (4 parâmetros)

Fonte: Silva, F. R. et al. (2012).

Nota: Ln = logaritmo natural; H_{dom} = altura das árvores dominantes (m); Id = Idade da medição; β₀, β₁, β₂, β₃, = coeficientes a serem estimados.

matemáticos selecionados, foram utilizadas as rotinas do pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS, 2002), com o Método dos Quadrados Mínimos para modelos lineares e o algoritmo de Marquardt para modelos não lineares.

Para selecionar o melhor modelo, observaram-se os critérios estatísticos definidos por: coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa (S_{yx}), coeficiente de variação (CV%), valor de F e a distribuição gráfica dos resíduos. Para maior exatidão da avaliação dos modelos testados, foram utilizadas três estatísticas auxiliares, raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) e erro médio absoluto (EMA). Como os modelos são de naturezas diferentes, foi realizado o recálculo da análise de variância.

Foram testados dois métodos para construção das curvas de índice de sítio: o método da curva guia e o método da diferença de equação; optou-se por uma idade de referência (I_{dref}) de sete anos.

Método da Curva-guia

Inicialmente foi selecionado um modelo de regressão envolvendo as variáveis altura dominante (H_{dom}) e idade (I_d). A equação resultante representa a curva média de índice de sítio, denominada curva-guia, que mostra o crescimento médio ao longo do tempo.

Definida a curva-guia, determina-se a idade de referência (I_{dref}), na qual a altura dominante ao atingir a curva-guia, nesse ponto, é igual ao índice de sítio ($H_{dom} = IS \Leftrightarrow I_{dref} = II = Idade \acute{I}ndice$).

Na idade de referência (I_{dref}), em função da amplitude dos dados, estabeleceu-se curvas acima e abaixo da curva-guia. Essas

curvas foram determinadas em função do número e equidistância entre as mesmas.

Após este procedimento, determinou-se a posição da curva mediana e as demais acima e abaixo desta, todas em função da equidistância entre elas. Esse procedimento é idêntico ao processo de elaboração de curvas de índice de sítio pelo método gráfico.

Método da diferença de equação

Segundo Scolforo (1997), este método pode ser aplicado a partir de qualquer modelo que retrata a relação altura-idade, tanto para produzir conjuntos de curvas anamórficas, como polimórficas. Entretanto, é necessário que se tenha dados advindos de parcelas permanentes, de análise de tronco, ou de um grande número de parcelas temporárias.

De acordo com Prodan et al. (1997), o pressuposto básico deste método é que todo par de observações se aplica à mesma relação altura-idade. Dessa forma, empregando pares consecutivos de idade e altura dominantes, os modelos são ajustados.

O método da diferença de equação foi proposto inicialmente por Bailey e Clutter (1974), para o desenvolvimento de curvas de índice de sítio anamórficas ou polimórficas, invariantes em relação à idade de referência, na qual usa pares de medidas consecutivas da variável a ser estimada. O princípio do método é fundamentado no manuseio das equações, de maneira a trabalhar o parâmetro específico do sítio.

Teste de anamorfismo

Depois de selecionado o melhor modelo para classificação de sítio, realizou-se um teste para verificar se as curvas eram anamórficas.

O teste de anamorfismo consiste

basicamente em verificar a existência de relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes médias nas diferentes idades. No entanto, antes de verificar essa relação linear por meio de regressão linear simples, foi necessário encontrar o valor do índice de sítio correspondente a cada valor de H_{dom} , por meio da seguinte expressão matemática (Equação 1):

$$\ln(IS) = \ln(H_{dom}) + \beta_1 * \left(\frac{1}{Id} - \frac{1}{Id_{ref}} \right) \quad (1)$$

Em que: IS = índice de sítio;
 H_{dom} = altura dominante;
 I_{dref} = idade de referência;
 Id = idade para a qual a relação linear entre $IS \leftrightarrow H_{dom}$ será ajustada;
 β_1 = coeficiente do modelo estatístico ajustado para classificação de sítios.

Posteriormente, a confiabilidade das

curvas anamórficas foi testada, verificando-se a existência de relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes médias nas diversas idades. Os resultados esperados são: coeficiente b_0 estatisticamente igual a zero e coeficiente b_1 estatisticamente maior que 1 nas idades menores do que a idade de referência, sendo tanto maior quanto menores forem as idades. Para confirmação do anamorfismo, segundo, os coeficientes de variação devem apresentar valores semelhantes para as diversas idades de uma mesma classe de sítio (SCOLFORO, 2006).

Resultados e Discussão

Ajuste dos Modelos Testados

De posse dos dados consistidos, procedeu-se aos ajustes dos modelos matemáticos que foram selecionados para este estudo. Os resultados obtidos estão demonstrados na tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Coeficientes de regressão ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão de estimativa (EPR), coeficiente de variação (CV%), valor de F, erro médio e desvio dos resíduos dos modelos de altura dominante ajustados para *Tectona grandis* em Alta Floresta, Mato Grosso

Equação	Autor	Coeficientes				R^2_{Aj}	EPR	CV%	F	REMQ	EMA
		b_0	b_1	b_2	b_3						
1	Prodan	-0,017	0,209	0,042	-	0,70	1,46	10,16	249,9*	1,45	1,17
2	Schumacher	3,064	-2,263	-	-	0,71	1,44	10,03	388,2*	1,43	1,16
3	Backman Chapman-	1,406	1,022	-0,172	-	0,71	1,45	10,06	256,6*	1,44	1,16
4	Richards Bailey (3)	18,956	0,227	0,861	-	0,71	1,44	10,06	257,1*	1,44	1,16
5	parâmetros) Bailey (4)	19,163	0,286	0,907	-	0,71	1,44	10,05	257,3*	1,44	1,16
6	parâmetros)	21,060	3,106	0,230	38,76	0,71	1,44	10,03	259,1*	1,43	1,16

Fonte: Silva, F. R. et al. (2012).

Nota: * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Constata-se que entre os seis modelos testados todos apresentaram resultados estatísticos muito próximos para a curva média.

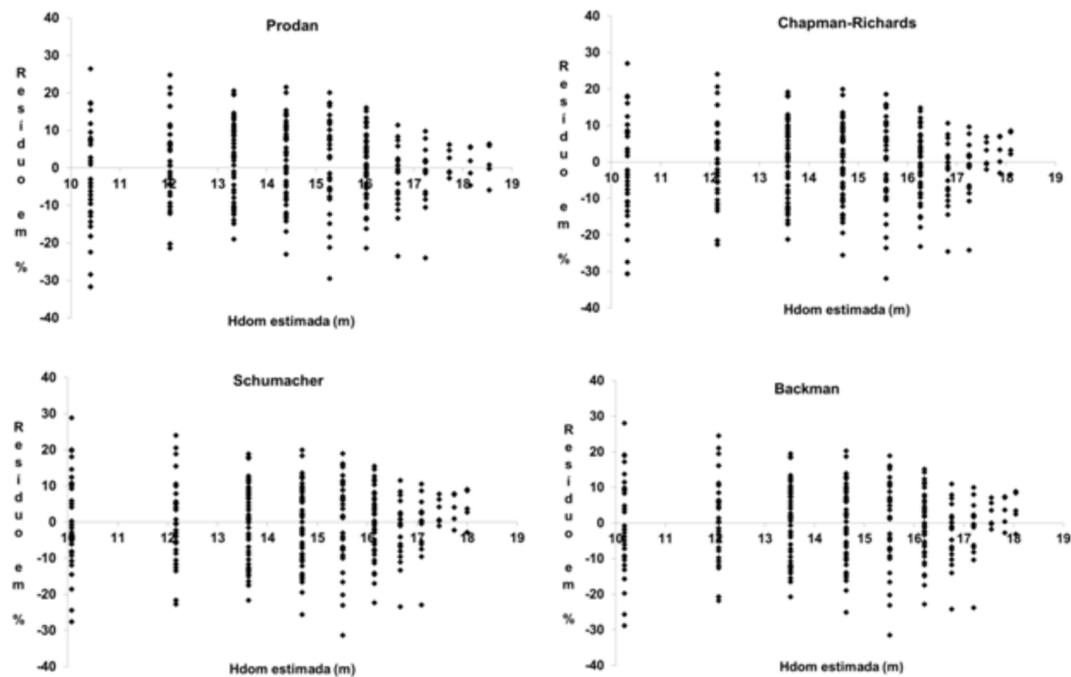
Avaliando os resultados estatístico, percebe-se que o coeficiente de determinação, em todos os modelos, tem um ajuste baixo para os padrões usuais. Isto ocorre em virtude da amplitude dos dados que são obtidos para níveis diferentes de classe de produtividade e idade. Entretanto, convém ressaltar que o resultado expressa uma curva guia padrão que servirá de base para elaboração do sistema de índice de sítio para a área do povoamento como um todo.

Em relação ao erro padrão residual (EPR), proporcionaram valores semelhantes, o que indica pouca diferença no ajuste dos modelos; este estimador apresentou resultados superiores aos encontrados por

Figueiredo (2005) para *Tectona grandis*. Quanto à estatística F, esse parâmetro se mostrou bastante elevado em todos modelos testados – significativo ao nível de 5% de probabilidade. Em relação ao coeficiente de variação (CV%) e raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ), os modelos de Schumacher e Bailey 4 parâmetros, apresentaram ligeira vantagem sobre os demais, sendo, portanto, aplicado, neste estudo, o modelo de Schumacher em função da sua eficiência e aplicabilidade.

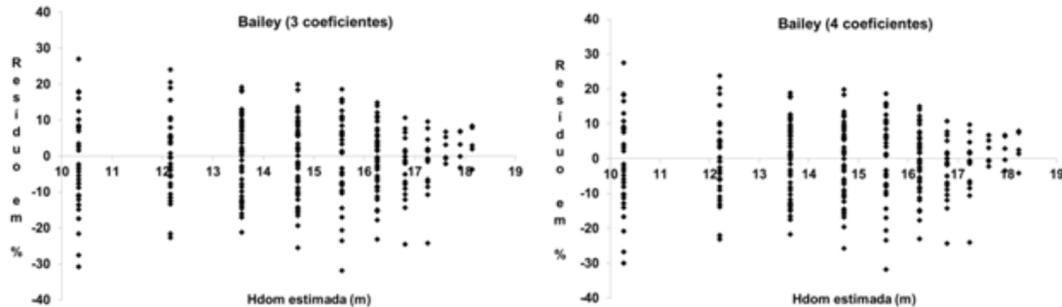
A figura 2 mostra os gráficos dos resíduos, onde é visível a semelhança entre todos os modelos, podendo-se perceber que existe uma simetria clara na tendência de dispersão. Os modelos se comportam de forma semelhante no tocante ao ajuste da curva-guia, independentemente do método de ajuste.

Figura 2 - Resíduo percentual em função da altura dominante estimada, para os seis modelos testados



(Continua...)

Figura 2 - Resíduo percentual em função da altura dominante estimada, para os seis modelos testados (Conclusão...)



Fonte: Silva, F. R. et al. (2012).

Sendo assim, pelo motivo de todas as estatísticas avaliadas dos seis modelos serem muito parecidas e os gráficos de resíduos não se diferirem visualmente, o modelo de Schumacher foi selecionado para gerar as curvas de sítio. Esse modelo apresentou uma ligeira vantagem do coeficiente de variação em porcentagem (CV%), em relação aos demais modelos, exceto para o modelo de Bailey 4 parâmetros, entretanto pesou, para decisão da escolha, a eficiência estatística e a simplicidade de aplicação do modelo de Schumacher que foi equivalente aos demais quando avaliado pelo ajuste pelo erro padrão residual.

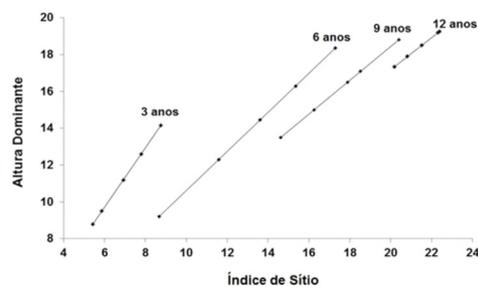
A escolha do modelo de Schumacher está em consonância com a literatura. Trabalhos de classificação de sítios desenvolvidos por pesquisadores na área florestal o apontaram como um modelo de bom desempenho para a construção de curvas de índice de sítios, entre os quais se pode citar Martins et al. (2007), trabalhando com plantios de *Leucaena leucocephala* no agreste de Pernambuco e Silva et al. (2013) testando modelos para construção de curvas de sítio para *Pinus caribaea*, os quais concluíram que esse modelo foi eficiente para a classificação de sítio.

Teste de Anamorfismo

O teste de anamorfismo foi realizado com o uso do modelo de Shumacher para gerar as curvas de sítios. Após estabelecer a relação linear entre o índice de sítio e a altura dominante nas idades em estudo (Figura 3), foi constatada a existência de uma alta correlação entre o índice de sítio e a altura das árvores dominantes, em que o coeficiente de correlação (R^2) sempre foi maior que 0,999.

O parâmetro β_1 variou e β_0 permaneceu constante, conforme a tabela 3. Esse fato indica que os pares de altura – idade são anamórficos. Assim, conclui-se que há

Figura 3 - Relação linear entre o índice de sítio e a altura dominante nas idades de 3, 6, 9 e 12 anos



Fonte: Silva, F. R. et al. (2012).

relação linear entre o índice de sítio e a idade.

(gera curvas anamórficas):

Tabela 3 - Parâmetros estimados para relação índice de produtividade – altura das árvores dominantes para diferentes idades

Idades consideradas (anos)	β_0	β_1
3	$0,1 * 10^{-14}$	0,617860816
6	$0,1 * 10^{-14}$	0,941588903
9	$-0,11 * 10^{-12}$	1,08355649
12	$-0,39 * 10^{-12}$	1,162376097

Fonte: Silva, F. R. et al. (2012).

Esse comportamento indica, segundo Scolforo (1997), que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local, o que indica que as curvas de índice de sítio para a *Tectona grandis* das áreas estudadas têm um padrão anamórfico. A dispersão das observações individuais em relação à linha de regressão sugere uma relação linear com intercepto zero, como sendo uma suposição válida para a maioria dos casos.

Construção das curvas de produtividade

Utilizando a equação ajustada pelo modelo desenvolvido por Schumacher (Equação 2), foram confeccionadas as curvas de produtividade pelo método da curva-guia.

$$\ln H_{dom} = 3,0644 - 2,263 * \left(\frac{1}{I_d}\right) \quad (2)$$

Pelo método da diferença de equação, foi utilizada a equação 3, com a qual foi elaborado um conjunto de curvas de índice de sítio, usando o modelo de forma comum

$$\ln(H_{dom}) = \ln S - 2,263 * \left[\left(\frac{1}{I_d}\right) - \left(\frac{1}{I_{dref}}\right)\right] \quad (3)$$

Obtêm-se desta maneira, os valores altura-idade para cada valor de índice de sítio considerado.

Assim, foi possível construir os limites inferiores e superiores para as diferentes classes de sítio. Foi adotada a utilização de quatro diferentes classes de sítio visando a uma maior estratificação do povoamento, em consonância ao realizado em outros trabalhos da literatura técnica. Os limites inferiores e superiores de cada sítio, na idade índice ou referência (sete anos), determinados via modelo de Schumacher, são apresentados tabela 4.

Tabela 4 - Valores encontrados para o cálculo dos limites inferiores e superiores

Variáveis de Avaliação	Valores calculados
Idade de referência (I_{dref}) em anos	7
H_{dom} na idade de referência em metros	15,5
Limite inferior da H_{dom} em metros	11,8
Limite superior da H_{dom} em metros	19,12
Amplitude total das H_{dom} na I_{dref} em metros	7,32
Número de classes de sítio	4
Amplitude das H_{dom} entre classes de sítio em (m)	1,83

Fonte: Silva, F. R. et al. (2012).

Para a classificação de sítios, tomou-se como base a curva média de crescimento, ajustada segundo o modelo utilizado; foram traçadas 4 curvas de sítio, com amplitude de 1,83 m, na idade índice 7 anos, cujos resultados são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Classes de sítios com seus limites de Hdom, inferior (LI), superior (LS) e valor do índice de produtividade para a idade de referência de sete anos

Classes de sítio	LI	LS	Índice de sítio (IS)
I	17,29	19,12	18,20
II	15,46	17,29	16,37
III	13,63	15,46	14,54
IV	11,8	13,63	12,71

Fonte: Silva, F.R. et al. (2012).

A figura 4 mostra as quatro curvas limites definidas pelos valores da tabela 5, que delimitam as 4 classes de sítio (I, II, III e IV) pelo método da diferença de equação e pelo método da curva-guia.

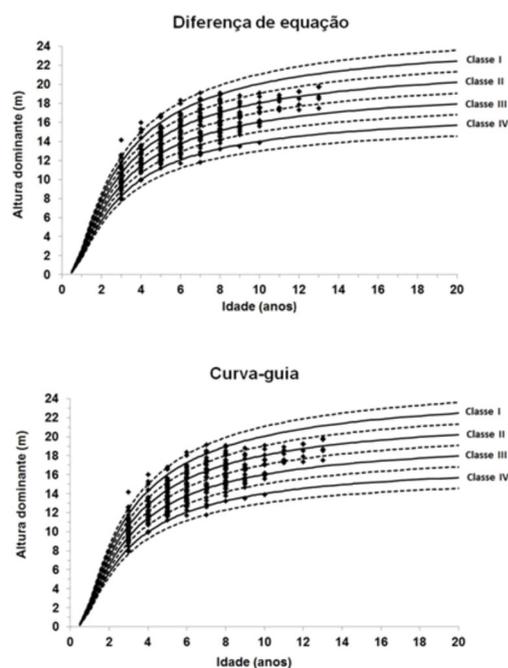
Na figura 4, verifica-se que as curvas seguem uma mesma tendência, na qual as curvas assumiram um mesmo comportamento nos dois métodos. Nas figuras, percebe-se que toda a variação de altura dominante, nas várias idades, foi considerada pelo feixe de curvas.

A experiência em classificação da produtividade do local, no mundo inteiro e com várias espécies, tem revelado que o método da diferença de equação tem apresentado bons resultados estatísticos e de estabilidade de classificação. Esses resultados já foram apresentados por Scolforo (1992), Cunha Neto et al. (1996), Prodan et al. (1997), Campos e Leite (2002).

Os métodos da curva-guia e diferença de equação foram eficientes na construção de curvas de índice de sítio no local estudado, não demonstrando diferença estatística nos resultados obtidos em ambos os métodos quando avaliados, por meio do teste t pareado. Neste trabalho, optou-se por utilizar o método da curva-guia, semelhante aos trabalhos de Dias et al. (2005), Bila, et al. (2012) e Conceição et al. (2012), em função da eficiência estatística e facilidade de aplicação.

Encontrou-se, para 4 classes de produtividade aos 7 anos de idade, alturas dominantes iguais: 18,21 m na classe I, 16,38 e 14,55 m na classe II e III, e 12,72 na classe IV (Tabela 6).

Figura 4 - Curvas de índice de sítio, (a) diferença de equação e (b) curva-guia



Fonte: Silva, F.R. et al. (2012).

Tabela 6 - Valores das curvas de índice de sítio, geradas pelo método da curva-guia

Classes de Produtividade												
Idade (anos)	Classe I			Classe II			Classe III			Classe IV		
	LS	IS	LI	LS	IS	LI	LS	IS	LI	LS	IS	LI
	19,12	18,20	17,29	17,29	16,37	15,46	15,46	14,54	13,63	13,63	12,71	11,8
1,0	2,75	2,62	2,49	2,49	2,35	2,22	2,22	2,09	1,96	1,96	1,83	1,70
2,0	8,52	8,11	7,71	7,71	7,30	6,89	6,89	6,48	6,07	6,07	5,67	5,26
3,0	12,42	11,83	11,24	11,24	10,64	10,05	10,05	9,45	8,86	8,86	8,26	7,67
4,0	15,00	14,29	13,57	13,57	12,85	12,13	12,13	11,41	10,70	10,70	9,98	9,26
5,0	16,80	16,00	15,19	15,19	14,39	13,58	13,58	12,78	11,98	11,98	11,17	10,37
6,0	18,12	17,25	16,38	16,38	15,52	14,65	14,65	13,78	12,92	12,92	12,05	11,18
7,0	19,12	18,21	17,29	17,29	16,38	15,46	15,46	14,55	13,63	13,63	12,72	11,80
8,0	19,91	18,96	18,00	18,00	17,05	16,10	16,10	15,14	14,19	14,19	13,24	12,29
9,0	20,54	19,56	18,58	18,58	17,59	16,61	16,61	15,63	14,65	14,65	13,66	12,68
10,0	21,07	20,06	19,05	19,05	18,04	17,03	17,03	16,03	15,02	15,02	14,01	13,00
11,0	21,51	20,48	19,45	19,45	18,42	17,39	17,39	16,36	15,33	15,33	14,30	13,27
12,0	21,88	20,83	19,78	19,78	18,74	17,69	17,69	16,64	15,60	15,60	14,55	13,50
13,0	22,20	21,13	20,07	20,07	19,01	17,95	17,95	16,89	15,82	15,82	14,76	13,70
14,0	22,47	21,40	20,32	20,32	19,25	18,17	18,17	17,10	16,02	16,02	14,95	13,87
15,0	22,72	21,63	20,54	20,54	19,46	18,37	18,37	17,28	16,19	16,19	15,11	14,02
16,0	22,93	21,84	20,74	20,74	19,64	18,54	18,54	17,45	16,35	16,35	15,25	14,15
17,0	23,12	22,02	20,91	20,91	19,80	18,70	18,70	17,59	16,48	16,48	15,38	14,27
18,0	23,30	22,18	21,07	21,07	19,95	18,84	18,84	17,72	16,61	16,61	15,49	14,38
19,0	23,45	22,33	21,21	21,21	20,08	18,96	18,96	17,84	16,72	16,72	15,60	14,47
20,0	23,59	22,46	21,33	21,33	20,20	19,08	19,08	17,95	16,82	16,82	15,69	14,56

Fonte: Silva, F.R. et al. (2012).

Os valores encontrados neste trabalho diferem dos resultados obtidos por Weaver (1993) que, classificando sítios nos países da Bacia do Caribe, utilizou 5 classes, cujos valores encontrados foram: 18 m para a classe I, 16 m para a classe II, 13 m para a classe III, 10 m para a classe IV e 7,5 m para a classe V.

Nunifu e Murchison (1999) classificaram o sítio para plantações de teca no norte de Gana e obtiveram 3 classes de sítio, com altura de 19 m, 14 m e 10 m, para as classes de sítio I, II e III, respectivamente,

na idade de referência de 20 anos, resultados inferiores aos obtidos no presente estudo.

Quando se compara o crescimento de teca em Alta Floresta - MT com o obtido por Figueiredo (2005) na microrregião do Baixo Rio - Acre, percebe-se que os mesmos são bem diferenciados. O autor, para as condições do plantio no Acre, determinou 3 classes de sítio, com altura de 16 m para a classe I e de 10 m para a classe III, na idade de referência de 9 anos, o que evidencia uma maior produtividade no plantio em Mato Grosso.

Cruz et al. (2008) obteve, em um povoamento de teca em Tangará da Serra, Mato Grosso, utilizando o método da curva-guia, na idade referência de 4 anos, alturas de 10 m e 15 m, para o pior e o melhor sítio, respectivamente. Resultado semelhante ao encontrado em Alta Floresta – MT.

Quando se comparam os dados de produção da teca encontrados por Bermejo et al. (2004), na Costa Rica e o plantio estudado em Alta Floresta – MT, os valores de altura dominantes na Costa Rica, são superiores, com três classes de produtividade (23, 21 e 19m) na idade de referência de 10 anos.

Conclusão

De acordo com os dados utilizados e a metodologia aplicada, pode-se determinar que o modelo selecionado para a construção da curva guia foi o proposto por Schumacher. Este modelo apresentou uma ligeira vantagem do coeficiente de variação em porcentagem (CV%), em relação aos demais modelos, exceto para o modelo de Bailey: 4 Parâmetros, entretanto pesou para a decisão da escolha a da eficiência estatística e a simplicidade de aplicação do modelo de Schumacher que foi equivalente aos demais quando avaliado pelo

ajuste e pelo erro padrão residual.

Os métodos da curva-guia e a diferença de equação são eficientes na construção de curvas de índice de sítio em povoamentos de *Tectona grandis*, pois não demonstraram diferenças estatísticas quando avaliados pelo teste t pareado.

De acordo com o comportamento do desenvolvimento em altura dominante do plantio e, para descrever a variação desse crescimento, foram necessárias quatro curvas de índice de sítio na idade índice de 7 anos.

O teste de anamorfismo para o modelo selecionado demonstrou que as curvas seguem um padrão anamórfico e, por essa razão, o método da curva-guia pode ser aplicado sem comprometer os resultados de avaliação das diferentes classes de produtividade proporcionando um sistema de curvas anamórficas para o sítio onde se encontra o plantio.

Os resultados alcançados no estudo mostram que ambos os métodos permitiram estabelecer um sistema de classificação da capacidade produtiva do local (sítio), consistentes e compatíveis com outros plantios em outras regiões dentro e fora do estado de Mato Grosso.

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Metorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6. p. 711-728. 2014.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**. Brasília, DF: 2011. 130 p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 2 set. 2012.

BAILEY, R. L.; CLUTTER, J. L. Base-age in variant polymorphic site curves. *Forest Science*, Bethesda, v.20, n.2, p. 155-159, 1974.

BARUSSO, A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. 1997. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

BERMEJO I.; CAÑELLAS I.; SAN MIGUEL A. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 97-110, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.031>>.

BILA, J. M.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A. Classificação de sítios com base em fatores edáficos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região de Prata, Minas Gerais. **Floresta** (Online), Curitiba, v. 42, p. 465-474, 2012.

BURGER, D. **Ordenamento florestal I**. 2. ed. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1976. 224 p.

CAMINO, R.; MORALES, J. P. Las plantaciones de teca em América Latina: mitos y realidades. Turrialba, **CATIE - Informe Técnico** nº 397, 2013. 392 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 407 p.

CHAVES, E.; FONSECA, W. **Teca (*Tectona grandis* L.F.) árbol de uso múltiple em América Central**. Turrialba: CATIE, 1991. 47 p. (Informe Técnico no 179).

CONCEIÇÃO, F. X.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; FAVALESSA, C. M. C.; ROQUETTE, J. G. Capacidade produtiva local de *Tectona grandis* em Monte Dourado, Estado do Pará, Brasil. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 822-827, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000011>>.

CUNHA NETO, F. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CALEGÁRIO, N.; KANEGAE, H. K. J. Uso da diferença algébrica para construção de curvas de índice de sítio para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na região de Luiz Antônio, SP. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 119-141, 1996.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; RODRIGUES, F. L. Avaliação de métodos de ajuste de curvas de índice de local em povoamento de eucalipto desbastados. **Rev. Árvore** [online], v.29, n.5, p. 741-747. 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000500009>>.

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de modelos pelo método da curva média para a construção de curvas de índice de sítio para *Tectona grandis* L. f.** Rio Branco: Embrapa, 2005. (Boletim de Pesquisa).

KRISHNAPILLAY, B. Silviculture and management of teak plantations. **Unasylva**, Roma, v. 51, n. 201, p. 14-21, 2000. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/x4565e/x4565e04.htm>>. Acesso em: 1 de ago. 2013.

MARTINS, E. F. P.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; JANKOVSKI, T.; BRITO, C. C. R. Curvas de índice de sítio para Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 365-376, 2007. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1968>>. Acesso em: 1 de ago. 2013.

MORAES E SILVA, V. S. **Produção de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh. no Estado de Mato Grosso**. 1999. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

NUNIFU, T. K.; MURCHISON, H. G. Provisional yield models of Teak (*Tectona grandis* Linn F.) plantations in northern Ghana. **Forest Ecology and Management**, v.120, n.1/3, p.171-178, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112798005295>>. Acesso em: 1 ago. 2013.

PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasylva**, Roma, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/x4565e/x4565e03.htm>>. Acesso em: 1 ago. 2013.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura florestal**. San José – Costa Rica: GTZ-IICA, 1997. 586p.

SAS Institute Inc. **Statistical Analysis System user's guide**. Version 9.0 ed. Cary: SAS Institute, USA, 2002.

SELLE, G. L.; FLEIG, F.D.; VUADEN, E.; ALBERNARD L. A. J.; BRAZ E. M. Índices de sítios para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 407-423, 2009. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/896/624>>. Acesso em: 1 ago. 2013.

SILVA, F. DA; PIMENTEL, A.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Classificação de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 11, Supl. 1, p. S105-S112, 2013.

SCOLFORO, J. R. S. Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, Piracicaba, v.45, p.40-47, 1992. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr45/cap06.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2013.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA / FAEPE. 1997. 151p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE. 2006. 393p.

SCHUHLLI, G. S.; PALUDZYSZYN FILHO, E. O cenário da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 217 - 230, 2010.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press, 1952. 476 p.

WEAVER, P.L. *Tectona grandis* Linn f. **Teak**. New Orleans: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1993. 18 p.